

BEST AVAILABLE COPY**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN**

(11)Publication number : 2000-021763

(43)Date of publication of application : 21.01.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20

(21)Application number : 10-201344

(71)Applicant : CANON INC

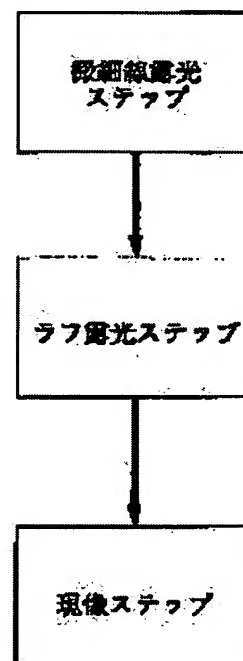
(22)Date of filing : 30.06.1998

(72)Inventor : SUGITA MITSUO

(54) METHOD OF EXPOSURE AND ALIGNER**(57)Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method of exposure and an aligner in which arbitrary high-resolution patterns are produced by a double exposure which is obtained with a fine line pattern exposure and a rough pattern exposure.

SOLUTION: The process comprises an exposure step, in which periodic patterns are exposed on a photoreceptive substrate and a rough exposure step in which rough patterns of a resolution lower than that of the relevant pattern are exposed on the photoreceptive substrate, and latent images generated by this process at the same positions of the photoreceptive substrate are overlapped. The fine line exposure step and the rough exposure step need not be in the same sequence as in the figure, i.e., the rough exposure step may be done first, and in the case of multiple exposures, the steps may be done alternately.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-21763
(P2000-21763A)

(43) 公開日 平成12年1月21日 (2000.1.21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 0 2 A 5 F 0 4 6
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 5 6
		H 0 1 L 21/30	5 1 4 A
			5 2 8
			5 3 1 E

審査請求 未請求 請求項の数17 F D (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平10-201344

(22) 出願日 平成10年6月30日 (1998.6.30)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 杉田 充朗

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

Fターム(参考) 5F046 AA02 AA05 AA07 AA08 AA09

AA25 BA05 BA08 CB03 CB25

DA02 GA02 GB01 GC04

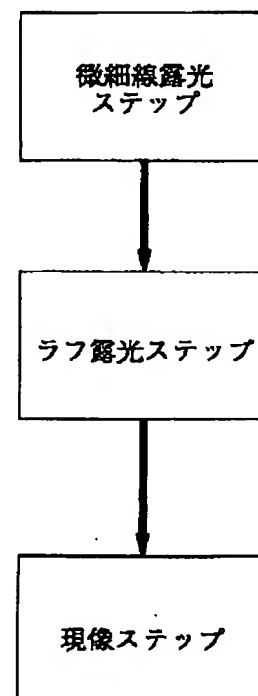
5F056 AA01 AA06 AA31 CB32 DA22

(54) 【発明の名称】 露光方法及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 微細線パターンの露光とラフパターン露光の
2重露光によって任意形状の高解像度のパターンが得ら
れる露光方法及び露光装置を得ること。

【解決手段】 周期的なパターンを感光基板に露光する
露光ステップと、当該パターンよりも解像度の低いラフ
パターンを該感光基板に露光するラフ露光ステップを有
し、前記露光ステップによる感光基板内の同一部分に生
じる潜像を重ね合わせたこと。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 周期的なパターンを感光基板に露光する露光ステップと、当該パターンよりも解像度の低いラフパターンを該感光基板に露光するラフ露光ステップを有し、前記露光ステップによる感光基板内の同一部分に生じる潜像を重ね合わせたことを特徴とする露光方法。

【請求項 2】 前記 2 つの露光ステップでは、互いに異なる波長の光および／または異なる波長の粒子線を用い、前記感光基板は当該異なる波長の光および／または異なる波長の粒子線に対して露光感度を有することを特徴とする請求項 1 の露光方法。

【請求項 3】 前記露光ステップは波長が 300nm 以下の紫外光による投影露光および／または 2 光束干渉露光を用いることを特徴とした請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 4】 前記露光ステップは電子線露光を用いることを特徴とした請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 5】 前記露光ステップは波長が 30nm 以下の軟 X 線による投影露光および／または 2 光束干渉露光を用いることを特徴とした請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 6】 前記ラフ露光ステップは波長が 30nm 以下の軟 X 線による投影露光を用いることを特徴とした請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 7】 前記ラフ露光ステップは波長が 300nm 以下の紫外光による投影露光を用いることを特徴とした請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 8】 前記ラフ露光が電子投影露光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 の露光方法。

【請求項 9】 前記ラフ露光が多値露光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 10】 前記ラフ露光が多重露光より成ることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 11】 前記ラフ露光ステップは複数の透過率のパターン領域を備えたマスクを用いていることを特徴とする請求項 9 記載の露光方法。

【請求項 12】 前記ラフ露光ステップは、当該ラフ露光ステップの露光条件で解像できる線幅以下のパターンを持つ領域を備えたマスクを用いており、当該パターンの解像されない露光像の光強度が多値となることを特徴とする請求項 9 記載の露光方法。

【請求項 13】 前記露光ステップが多値露光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 14】 前記露光ステップが多重露光より成ることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の露光方法。

【請求項 15】 請求項 1 から 14 のいずれか 1 項の露光方法を用いて感光性の基板にマスク上のパターンを転写していることを特徴とする露光装置。

【請求項 16】 請求項 1 ～ 14 のいずれか 1 項の露光方法を用いてマスク面上のパターンをウエハ面上に露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製

造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【請求項 17】 請求項 15 の露光装置を用いてマスク面上のパターンをウエハ面上に露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、露光方法及び露光装置に関し、特に微細な回路パターンで感光基板上を露光し、例えば IC、LSI 等の半導体チップ、液晶パネル等の表示素子、磁気ヘッド等の検出素子、CCD 等の撮像素子といった各種デバイスの製造に用いられる際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】従来より、IC、LSI、液晶素子等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際に、フォトリソマスク又はレチクルのパターンを投影光学系を介して、フォトリソレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に投影露光する投影露光装置が使用されている。

【0003】IC、LSI、液晶素子等の半導体装置の高集積化は益々加速度を増しており、これに伴う半導体ウエハの微細加工に対する要求は、パターンの微細化即ち、高解像度化である。

【0004】このような要求に対して、現在、微細加工技術の中心をなす投影露光技術は、現在 0.1 μm 以下の寸法の像を広範囲に形成するべく、向上が計られており、さらに 80nm 以下の回路パターン形成方法および装置が望まれている。

【0005】従来の露光装置の原理的な模式図を図 24 に示す。図中、251 はエキシマレーザ光源 252 は照明光学系、253 は照明光、254 はマスク、255 は物体側露光光、256 は投影光学系、257 は像側露光光、258 は感光基板、259 は感光基板を保持する基板ステージ、をそれぞれ表す。

【0006】この露光装置では、まずエキシマレーザ光源 251 より出射したレーザ光が照明光学系 252 に導光され、所定の光強度分布、配光分布等を持つ照明光 253 となるように調整され、マスク 254 に入射する。

【0007】マスク 254 には感光基板上に形成するパターンが所定の倍率変換されてクロム等を用いてパターン形成されており、照明光 253 は透過および回折して物体側露光光 255 となる。投影光学系 256 は入射露光光 255 を所定の倍率、充分小さな収差で感光基板上に結像する像側露光光 257 に変換する。

【0008】像側露光光 197 は下部拡大図に示したように所定の NA (開口数 = $\sin \theta$) で感光基板 258 上に収束し、結像する。基板ステージ 259 は感光基板上に複数のパターンを形成する場合にステップ移動して感光基板と投影光学系の相対的な位置を制御する機能を持つ。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】（投影露光の特性と問題点）しかしながら以上説明したような現在主流のエキシマレーザを用いた投影露光型の露光装置では、 $0.1\mu\text{m}$ 以下のパターン形成が困難であるという問題があった。

【0010】これらの問題について以下例を挙げて説明する。まず投影光学系には使用波長に起因する光学的な解像度と焦点深度のトレードオフによる限界がある。投影露光装置による解像パターン、解像度と焦点深度は、式(1)および(2)のレーリーの式によって表されることが知られている。

$$【0011】R=K_1 \cdot \lambda / NA$$

$$DOF=K_2 \cdot \lambda / NA^2$$

ここで、 λ は波長、NAは前述した光学系の明るさを表す開口数、 K_1 、 K_2 は感光基板の現像プロセス特性等によって決まる定数であり、通常 $0.5 \sim 0.7$ 程度の値をとる。

【0012】この式(1)、(2)より、解像度Rを小さい値とする高解像度化には波長 λ を小さくする「短波長化」か、NAを大きくする「高NA化」が必要である。しかしながら同時に投影光学系の性能として求められる焦点深度DOFはある程度の値以上に維持する必要がある。このため、高NA化をある程度以上進めることは不可能となり、結局、短波長化が唯一の解決方法となる。

【0013】しかしながら、短波長化を進めていくと、この式とは別の重大な問題が発生する。

【0014】問題のうち最も大きなものは、投影光学系に使用できる硝材がなくなってしまうことである。

【0015】現在の投影露光系として収差量、加工精度、制御性などから充分実際の装置搭載に耐えるのは屈折系即ちレンズを含む光学系である。レンズに使用する硝材の透過率は一般の硝材の場合短波長、即ち深紫外線の領域ではほとんど0である。露光装置用に特別な製造方法を用いて製造された硝材として石英等が現存するが、この透過率は193nm以下に対しては急激に低下し、 $0.1\mu\text{m}$ 以下のパターンに対応する約150nm以下の領域では実用的な硝材の開発は非常に困難である。さらに透過率の条件以外にも耐久性、屈折率均一性、光学的歪み、加工性等々の複数条件を満たす硝材の存在自体が危ぶまれている。

【0016】このように従来の投影露光では式(1)、(2)に依存してパターンを露光するために短波長化が必要であり、従って硝材が存在しないという問題を引き起こし、 $0.1\mu\text{m}$ 以下の露光が実現できない。

【0017】例えば、次世代のエキシマレーザ光源として、波長157nmのF2レーザが用いられつつあるが、前述したように、この波長では屈折率素子即ちレンズを多用することは非常に難しく、投影光学系は反射素子即ちミラー含んだ反射屈折系やあるいはミラーのみの全反射系が

有利である。しかしながら、このような反射素子を含む投影光学系では反射による光路の重なりから、NAを大きく構成することが難しいという問題があった。

【0018】このようにエキシマレーザを用いた露光装置で実用的な回路パターン形成に対して $0.1\mu\text{m}$ 以下の露光を行うには困難が生じている。

【0019】これに対して、 $0.1\mu\text{m}$ を実現できる露光装置として、波長1nm程度のX線を用いたプロキシミティによる一括露光も提案されているが、80nm以下の露光ではマスクとウエハ間のギャップ制御や等倍マスク作成等が難しくなってくる。

【0020】また、電子ビームを用いた電子ビーム露光装置も提案されており、実際に解像度としては80nmを超える性能が実現しているが、露光装置の重要な性能であるスループットが低いという問題がある。

【0021】以上述べたように100nm以下を目指す各種露光はそれぞれ、長所短所があり、100nm以下の高解像度は達成できるものの、80nm以下で実回路の持つ多様なパターンを形成し、実素子を作成する露光装置としてはそれぞれ問題点があり、不十分であった。

【0022】本発明は、微細線露光とラフ露光を融合した露光方法を適切に用いることにより、線幅80nm以下のパターン形成を実現可能とする露光方法およびそれを用いた線幅80nm以下の実回路パターン露光が可能な露光装置を提供するものである。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明の露光方法は、(1-1) 周期的なパターンを感光基板に露光する露光ステップと、当該パターンよりも解像度の低いラフパターンを該感光基板に露光するラフ露光ステップを有し、前記露光ステップによる感光基板内の同一部分に生じる潜像を重ね合わせたことを特徴としている。

【0024】特に、

(1-1-1) 前記2つの露光ステップでは、互いに異なる波長の光および／または異なる波長の粒子線を用い、前記感光基板は当該異なる波長の光および／または異なる波長の粒子線に対して露光感度を有することを特徴としている。

【0025】(1-1-2) 前記露光ステップは波長が300nm以下の紫外光による投影露光および／または2光束干渉露光を用いること。

【0026】(1-1-3) 前記露光ステップは電子線露光を用いること。

【0027】(1-1-4) 前記露光ステップは波長が30nm以下の軟X線による投影露光および／または2光束干渉露光を用いること。

【0028】(1-1-5) 前記ラフ露光ステップは波長が30nm以下の軟X線による投影露光を用いること。

【0029】(1-1-6) 前記ラフ露光ステップは波長が300nm以下の紫外光による投影露光を用いること。

【0030】(1-1-7)前記ラフ露光が多値露光であること。

【0031】(1-1-8)前記ラフ露光が電子投影露光であること。

【0032】(1-1-9) 前記ラフ露光が多重露光より成ること。

【0033】(1-1-10) 前記ラフ露光ステップは複数の透過率のパターン領域を備えたマスクを用いていること。

【0034】(1-1-11) 前記ラフ露光ステップは、当該ラフ露光ステップの露光条件で解像できる線幅以下のパターンを持つ領域を備えたマスクを用いており、当該パターンの解像されない露光像の光強度が多値となること。

【0035】(1-1-12)前記露光ステップが多値露光であること。

【0036】(1-1-13)前記露光ステップが多重露光より成ること。等の特徴としている。

【0037】本発明の露光装置は、
(2-1) 構成(1-1) の露光方法を用いて感光性の基板にマスク上のパターンを転写していることを特徴としている。

【0038】本発明のデバイスの製造方法は、
(3-1) 構成(1-1) の露光方法を用いてマスク面上のパターンをウエハ面上に露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0039】(3-2) 構成(2-1) の露光装置を用いてマスク面上のパターンをウエハ面上に露光した後、該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0040】尚、本発明において「多重露光」とは「感光基板上の同一領域を互いに異なる光パターンで途中に現像処理工程を介さずに露光すること」を言う。

【0041】

【発明の実施の形態】(発明の原理)まず、図1 から図9を用いて本発明の露光方法の多重露光の原理を説明する。

【0042】図1 は本発明の露光方法の基本的なフローチャートを表す図である。図中には本露光方法を構成する、微細線露光ステップ(微細線露光)、ラフ露光ステップ(ラフ露光)、そして現像ステップとその流れが示してある。

【0043】微細線露光ステップとラフ露光ステップはこの図の順でなくともよく、ラフ露光ステップが先でもよく、また、複数回露光する場合は交互に行うことも可能である。

【0044】また、各露光ステップ間にはアライメントステップ等を適宜挿入して像形成精度を上げることも可能であり、本発明はこの図により、そのステップ構成を

何ら限定されるものではない。

【0045】図10は本発明の露光装置の構成の一例を示す図である。次にこれらのステップにより本発明の効果がいかん実現されるかについてその原理を説明する。図1のフローを用いた場合、まず微細線露光により感光基板上に周期的な微細線パターンを露光する。

【0046】図2 はこの周期的な微細線パターンを示す模式図である。図中の数字は露光量を表したものであり、即ち、斜線部は露光量1、白色部は露光量0 である。このような微細線パターンのみを現像する場合、通常は感光基板の露光しきい値は0と1 の間に設定する。

【0047】図3 にこの場合の感光基板のレジスト部分に関して現像後膜厚の露光量依存性、および露光しきい値E t h をポジ型およびネガ型について示した。ポジ型の場合は露光しきい値E t h 以上、ネガ型の場合は露光しきい値E t h 以下の場合に現像後膜厚が0 となる。

【0048】図4 はこのような露光を行った場合の現像、エッチングプロセスを経てリソグラフィパターンが形成される様子を示した模式図である。本発明においては、このような通常の露光感度設定と異なり、微細線露光での最大露光量を1 としたとき、レジストの露光しきい値を1 よりも大きく設定する。

【0049】このような感光基板では図2 に示すように微細線露光のみ行った露光パターンを現像した場合には露光量が不足し、多少の膜厚変動はあるものの、膜厚が0 となる部分は生じず、パターンは形成されない。

【0050】これは即ち微細線露光パターンの消失と見做することができる(なお、ここではネガ型を用いた場合の例を用いて説明を行うが、明らかなように、本発明の本質はネガ型かポジ型かに依存するものではなく、両者に共通であり、他の要求により任意にこれを選ぶことができる。))。

【0051】本発明の多重露光原理は上述したように微細線露光のみでは一見消失する高解像度のパターンをラフ露光によるパターンと融合して、その融合効果により選択的に復活させ、再現し、リソグラフィパターンを形成できるところにある。

【0052】次に本発明の実施形態のパターン形成法の一例についてラフ露光を加えて説明する。

【0053】図2 の微細線パターンを露光(微細線露光ステップ)するために本実施例では図11の露光光としてF2レーザからの光を用いた露光装置を用いた。

【0054】図中211 はマスク、212 は副鏡、213 は主鏡、214 はウエハ、215 はウエハステージ、216 は開口絞り部の光透過の様子をそれぞれ示す。また、簡単のために光軸上のみの結像光束を示してある。

【0055】同図において露光光で照明したマスク211からの光は順に副鏡212、主鏡213で反射して、ウエハ214に集光し、その面上で2 光束干渉縞を形成している。

【0056】この露光装置の投影光学系はシュワルツシルト光学系であり、NA(開口絞り)の中心部は副鏡によって遮光されている。本実施例では、この所謂光学系の瞳の中心部遮光をマスク211による回折光の0次光をカットするフィルタとして用い、目的とする微細線パターンのピッチの2倍のピッチの周期的なパターンを持つマスクを用いて像面で+1次光、-1次光の2光束干渉により微細線パターンを露光した。

【0057】レジストとしては化学増幅型レジストで波長157nmのレーザ光と以下に述べるSR光のX線とに両方感度があるものを用いた。なお、レジストについては化学増幅型以外でも前述した両者に感度があるものならば用いることができる。

【0058】図12はこの露光装置で微細線パターンを露光するために2光束干渉露光を行っている様子を示す模式図である。マスク211には目的とする微細線パターンのピッチの2倍に対応する(倍率換算された)周期パターンが形成されている。ピッチが2倍である理由は、この露光装置が図中開口絞り部216で示されるように開口絞り(瞳)の中心部が遮光されているためにマスク上の周期パターンにより回折した光のうち0次光が遮光されることで、+1次光と-1次光の2光束干渉を実現しており、そのため、通常の3光束干渉露光の2倍のピッチのパターンが形成されるためである。

【0059】波長は157nm、最外の光束のNAは0.6であり、2光束干渉露光による解像限界は65nmL&Sである。

【0060】なお、本実施例では投影光学系を全反射系で構成したが、屈折素子を含むカタディオプトリック系や、全屈折系などでも同じ効果が得られることはいうまでもない。

【0061】次に、本実施形態におけるラフ露光ステップについて述べる。図7(A)はラフ露光での露光パターンである。

【0062】本実施例では前述のF2露光装置によって形成する周期パターンは65nmL&Sであるが、ラフ露光での露光パターンの解像度はその微細線露光パターンの半分の130nmである。図7(A)はラフ露光によって微細線露光の2倍の線幅パターンが形成された様子を示している。

【0063】本実施例ではこのラフ露光に、図13に示すX線等倍プロキシミティ露光装置を用いた。

【0064】図13中で、221はSR(シンクロトロン放射光)光源、222はSR光、223はビーム成形ミラー、224はシャッター、225はシャッター制御ユニット、226はマスク、227はウエハ、228はウエハステージ、229はベリウム窓をそれぞれ示す。

【0065】X線源としてのSR(シンクロトロン放射光)発生装置221から放射されたSR光222は発光点から略3mの位置に設置された曲率半径が略60mのSiC性のシ

リンドリカルミラー(凸面ミラー)223にほぼ斜入射角略15mradで入射する。

【0066】ミラー223で反射されたSR光222はX線透過膜上にX線吸収体からなる所望置のパターンが形成されている原版としての透過型マスク226を透過後、所望のパターン形状となり、感光材としてのレジストが塗布してある基板(ウエハ)227に照射される。

【0067】マスク226の上流側には露光領域の全面にわたり露光時間を制御するためのシャッター224が設置されている。シャッター224は不図示のシャッター制御ユニットにより制御されるシャッター駆動ユニット225により駆動される。

【0068】Be製の略10 μ m厚さの薄膜229は不図示のチャンバーの境界であり、薄膜より上流側(光源側)は超高真空、下流側(ウエハ側)は減圧Heとなっている。

【0069】なお、本実施例では前述のX線露光装置を用いたが、このような波長130nmの解像度でラフ露光を行うことのできる露光装置としてはArFエキシマレーザや位相シフトマスクなどの超解像技術を用いたものを始めとして、EB(電子線)露光装置、EUV露光装置(多層膜ミラーを用いた軟X線縮小投影露光装置)等があり、適宜これらを用いることができる。

【0070】このパターンの露光を図5の微細線パターンの微細線露光の後に現像工程なしで重ねて行くとすると露光量の合計の分布は図7(B)下となる。ここで微細線露光とラフ露光の露光量比は1:1とする。露光しきい値E_{th}は図6のパターン消失時と同様に1と2の間に設定されているため、図7(B)上に示したパターンが形成される。このパターンは解像度が微細線露光のものであり、かつ、周期パターンでない。即ち選択的に、ラフ露光で実現できる解像度以上の、高解像度のパターンが得られたことになる。

【0071】さらに図8(A)に示すように2倍の線幅で露光しきい値以上(ここでは2倍の露光量)でラフ露光を行うと、図8(B)に示したように、微細線露光のパターンは消失し、ラフ露光パターンのみが形成される。

【0072】これは図9に示すように3倍の線幅で行っても同様であり、それ以上の線幅では基本的に2倍線幅と3倍線幅の組み合わせ等を考えれば、ラフ露光で実現できるパターンに関してその全てが形成可能であることが明らかである。

【0073】以上示したように微細線露光とラフ露光を組み合わせを行い、感光基板のしきい値と各露光での露光量の調整を行うことにより、図6、図7(B)、図8(B)、図9(B)のような多種でかつ高解像度となるようなパターンをスループロットを大幅に低下することなく形成することができる。

【0074】以上が本露光方法の原理であり、まとめれば、(7-1)ラフ露光をしていないパターン領域、即ち、露光

しきい値以下の微細線露光パターンは現像により消失する。

【0075】(7-2) 露光しきい値以下の露光量で行ったラフ露光のパターン領域に関してはラフ露光と微細線露光のパターンの組み合わせにより決まる微細線露光の解像度を持つ露光パターンが形成される。

【0076】(7-3) 露光しきい値以上の露光量で行ったラフ露光のパターン領域は、ラフ露光のみと同様に任意のパターンを形成する。ということになる。

【0077】なお、本発明では微細線露光とラフ露光の順番は微細線露光を先としたが、本発明はこの順番に限定されるものではない。

【0078】次に本発明の実施形態2のパターン形成方法について説明する。本実施例では露光により得られる回路パターンとして、図14に示す所謂ゲート型のパターンを目的とする。

【0079】このパターンは、横方向の即ちA-A'方向の線幅が40nmであるのに対して、縦方向では80nm以上であるという特徴を持つ。

【0080】本発明によれば、このような1次元方向のみ高解像度を求められるパターンに対しては、微細線露光ステップでの露光をかかえる高解像度の必要な1次元方向のみで行うことができる。本実施例ではこの1次元状の微細線露光とラフ露光の組み合わせの例を示す。

【0081】本実施例では微細線露光は図19に示す電子ビーム露光装置を用いて行った。この露光装置は所謂マルチビーム露光方式といわれる電子ビーム露光方法を採用したものである。

【0082】図19中、231a、231b、231cは個別に電子ビームをon/offできる電子銃である。232は電子銃231a、231b、231cからの複数の電子ビームをウエハ233に縮小投影する縮小電子光学系で、234はウエハ233に縮小投影された複数の電子ビームを走査させる偏向器である。

【0083】235は偏向器234を作動させた際に縮小電子光学系232を通過する電子ビームで発生する偏向収差に応じて、電子ビームのフォーカス位置を補正するダイナミックフォーカスコイルであり、236は偏向収差に応じて電子ビームの非点収差を補正するダイナミックスティグコイルである。また、237はウエハステージである。そして、上記構成により、ウエハ233上に複数の電子ビームを走査して、各電子ビームの露光フィールドを隣接してウエハ233を露光する。

【0084】ウエハ233には感光剤として化学増幅型レジストが塗布してあり、像として入射した電子ビームが2次電子発生し、2次電子が酸を発生することにより溶解性が局所的に変化し、パターンが形成できる。

【0085】このレジストは後述するラフ露光のX線露光によっても同様に像として入射したX線が2次電子を発生し、パターン形成するため、電子ビームとX線の両

方に感度があり、微細線露光とラフ露光での潜像の重ね合わせが可能となっている。

【0086】図19に示す電子ビーム露光装置は前述したように任意のパターンを所謂1筆書きの要領で走査露光するために、マルチビームとしても露光制御に時間がかかるが、本発明で電子ビーム露光を用いる場合、本発明の微細線露光ステップでは直線を等間隔で走査露光するため、走査距離も短く制御も簡易であり、スループットが大きく低下することはない。

【0087】本実施例では電子ビーム露光装置として前述したマルチビーム方式を用いたが、露光装置としては特開平9-330870号公報に開示されているように偏向収差を補正したもの等を適宜用いることができる。また、マルチビーム露光方式以外のステンシルマスク方式等の他の電子ビーム露光方式を用いることができる。

【0088】さらに、本実施例の微細線パターンへの露光装置としては、電子ビーム露光装置以外にも、F2エキシマレーザ投影露光装置やX線露光装置、EUV露光装置等を用いることもできる。

【0089】図15は以上述べた露光装置によって形成されたパターンの様子を示す模式図であり、図15(A)は1次元方向の微細線露光による周期的な露光パターンを示す。周期は80nmであり、これは40nmL&Sに相当する。下図における数値は露光量を表すものである。

【0090】本実施例では微細線露光ステップの次工程のラフ露光ステップとして図11(B)のパターンの露光を行う。本実施例でのラフ露光ステップには図13を用いて(実施例1で)前述したX線露光装置を用いた。X線露光装置以外にも電子線露光装置、EUV露光装置(多層膜ミラーを用いた軟X線縮小投影露光装置)等を用いることができるもの前述した通りである。

【0091】図11(B)の上図には微細線露光との相対的な位置と、本ステップの各領域での露光量を示した。下図はこの露光量を40nmピッチの分解能でマップしたものである。このラフ露光によるパターンの線幅は微細線露光の2倍の80nmであることが分かる。

【0092】また、このような領域によって露光量が異なるラフ露光を行う方法としては、図中1で示した領域に対応するマスク部に透過率T%、2で示した領域に対応するマスク部に透過率2T%を構成した複数段透過率を持つマスクを用いる方法があり、この方法ではラフ露光ステップを一回の露光で完了することができる。

【0093】この場合の各ステップでの露光量比は感光基板上で、微細線露光:透過率T:透過率2T=1:1:2である。

【0094】また、前述の解像する大きさのパターンのみを持つハーフトーンマスクのかわりに、解像しない微細パターンを用いて結果的にできる像強度が(連続的な)中間調になるようにマスクを構成することができる。このうち好ましい例は、目的とするゲートパターン

をそのままマスクに形成するものである。

【0095】目的とするゲートパターン中にはラフ露光では解像しない微細線が含まれており、これを露光すると像としては所謂ぼけ像となり、光強度が滑らかに変化する中間調となる。これはハーフトーンを用いた像とその主な効果は同じであり、かつ、目的とする微細線の強度のピーク位置が一致する等という点で、一様なハーフトーンでの像よりも好ましいという利点がある。

【0096】さらに、ハーフトーンマスクを用いない別の方法としては図11(D)に示すような露光量のマスクで2回露光することも可能である。この場合には露光量は一段で良いため、マスクの透過率も1段で済む。この場合の露光量比は感光基板上で、微細線露光：第1回ラフ露光：第2回ラフ露光=1:1:1である。

【0097】次に2光束露光ステップとラフ露光ステップの組み合わせによるパターン形成について述べる。本発明においては微細線露光ステップとラフ露光ステップの間には現像ステップはない。そのため、各ステップでのそれぞれ露光パターン位置での露光量は加算される。そして加算後の露光量により新たな組み合わせ露光パターンとなる。

【0098】図11(C)は本実施例の2ステップの露光量の加算結果を表す図である。そして、下図はこの露光パターンに対して現像を行った結果のパターンを灰色で示したものである。なお、本実施例では感光基板としては露光しきい値が1以上2未満であるものを用いた。灰色で示したパターンは図14に示した所望のパターンと一致し、本発明の露光方法によりこのパターン形成が可能となった。

【0099】次に本発明の実施形態3のパターン形成方法について説明する。本実施例では微細線露光を電子ビーム露光によって行い、ラフ露光を電子投影露光によって行う。このうち、まず微細線露光について説明する。

【0100】微細線露光に用いたのは実施例2で図19を用いて説明したマルチビーム露光であるため、露光装置についてはその説明を省略する。微細線露光に他の電子ビーム露光装置、X線等倍露光装置X線縮小露光装置等を用いることができるのも全く同様である。

【0101】本実施例では2次元的に微細線露光のパターンを露光するものである。本実施例の微細線の線幅は40nmとした。

【0102】図16はこの2次元的な微細線露光を行った場合の露光パターンを露光量のマップとして表した模式図である。本実施例では最終的に得られる露光パターンのバリエーションを増やすために、微細線露光の2つの方向の露光量を異なる値(2倍)とした。この2つの露光量は同一でもよく、これは本実施例によって限定されるものではない。

【0103】図16の露光パターンでは2つの微細線露光の結果、露光量は0から3までの4段階となってい

る。このような微細線露光に対して充分に効果のあるラフ露光の露光量段数は5段以上である。そして感光基板の露光しきい値は微細線露光の露光量の最大値である3より大きく、かつラフ露光の露光量の最大値4未満に設定する。本実施例のラフ露光で用いた電子投影露光装置の模式図を図20に示す。

【0104】図中241は入射電子ビーム、242はマスク、243は電子拡散領域、244は電子透過性基板、241aは透過電子ビーム、241bは拡散電子ビーム、245はプロジェクションレンズ、246は開口マスク、247は開口、248はウエハ、249はウエハステージをそれぞれ表す。

【0105】入射した電子241はそれぞれマスク242を透過するが、その際電子拡散領域243を通過する電子は拡散され、散乱角がつくために、透過後の軌道の分布241aはより広がったものとなる。

【0106】その他の電子透過基板244のみを通過する電子は拡散はほとんどなく、透過後のビーム241bは直進成分が主要となる。プロジェクションレンズ245と開口マスク247およびウエハ248はもし電子がマスクと何も相互作用せずに透過してそのまま直進した場合には、マスク上の有効画面内全ての電子線が開口248に集光し、そして通り抜け、ウエハに到達することができるように構成されている。通り抜けた電子がウエハ上に到達する位置、即ち像位置はマスク上の位置と1対1に対応している。

【0107】従って、前述の電子透過基板244上の電子拡散領域243によってパターン形成されたマスクを用いた場合には、透過した電子ビームのうち、拡散されずにほぼ直進するもののみが開口を通り抜け、対応するウエハ上の像点に達しウエハ248上に塗布されたレジストを感光することとなるため、マスク上の非拡散領域に対応した像位置には電子が到達し、拡散領域に対応した像位置には電子が到達しないため、ウエハ上に塗布されたレジストにはマスクの持つパターンが感光されることとなる。

【0108】以上が本実施例で用いた電子投影露光の原理であるが、本実施例では電子拡散領域の拡散の程度の異なる拡散物質を4種類用いることにより、像面位置での像強度が0と1の2値でなく、0、1、2、3、4の5段階の、中間調を持つ露光を行った。この際に用いたマスクの一部分の模式図について図21に示した。各領域で散乱の範囲が異なり、従って図20の開口を通過できる電子の量が段階的に異なり像面に中間調の像を形成するものである。また、各拡散領域のパターンの大きさは80nm、即ち微細線露光の微細線幅の2倍とした。

【0109】このような5段階(0、1、2、3、4)の露光量でのラフ露光を行った結果の露光パターンの各露光量を図17に示した。またハッチング部は露光しきい値以上の場所を表し、これが最終的な露光パターンとなる。

【0110】なお、図17はラフ露光の解像度を微細線露光の半分として、2倍の長さの辺を持つブロックに関して示したものである。このようなブロック単位でラフ露光の露光量を変化させてより広い面積にパターンを形成した例を図18に示す。

【0111】微細線露光の解像度を持ち、周期パターン以外の非常にバリエーション豊かなパターンが露光できている。本実施例ではラフ露光は微細線露光の線幅の2倍のブロックを単位として行ったが、本発明はこれに限定されることなく、ラフ露光の解像度内の任意のパターンでラフ露光を行うことができ、それぞれに応じて微細線露光と組み合わせさせた露光パターンを得ることができる。

【0112】また、本実施例では微細線露光の線幅は2つの方向で同一として説明したが、これは任意に変えてよい。さらに2つの間の角度も任意に選ぶ事ができる。

【0113】尚、本発明において

(a) 照明光学系の照明方法としては、KrFエキシマレーザー、ArFエキシマレーザー又はF2エキシマレーザーから光でマスクパターンを照明することが適用可能である。

【0114】(b) 露光装置においては屈折系、反射－屈折系、又は反射系のいずれかより成る投影光学系によって前記マスクパターンを投影することが適用可能である。

【0115】(c) 露光装置としては本発明の露光方法を露光モードとして有するステップアンドリピート型縮小投影露光装置や本発明の露光方法を露光モードとして有するステップアンドスキャン型縮小投影露光装置等が適用可能である。

【0116】次に上記説明した露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0117】図22は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或いは液晶パネルやCCD等）の製造のフローを示す。

【0118】ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0119】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0120】次のステップ5（組立）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0121】ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト

等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0122】図23は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0123】ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0124】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングがすんで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0125】本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0126】本発明は以上説明した実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲においてシーケンスの流れなどは種々に変更する事が可能である。

【0127】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の、異なる露光装置を用いて微細線露光とラフ露光を多重露光する露光方法および露光装置を用いることにより、80nm以下の多様なパターンの露光をスループットを大幅に低下させることなく実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の露光装置の原理的なフローを示す図

【図2】微細線露光による露光パターンを示す模式図

【図3】レジストの露光感度特性を示す模式図

【図4】現像によるパターン形成を示す模式図

【図5】微細線露光による露光パターンを示す模式図

【図6】本発明による形成パターンを示す模式図

【図7】本発明の実施形態1による形成パターンの一例を示す模式図

【図8】本発明の実施形態1による形成パターンの他の一例を示す模式図

【図9】本発明の実施形態1による形成パターンの他の一例を示す模式図

【図10】本発明の露光装置の要部ブロック図

【図11】F2レーザ投影露光装置の一例を示す模式図

【図12】F2レーザ投影露光装置での2光束干渉露光の様子を示す模式図

【図13】X線露光装置の一例を示す模式図 ¥ ¥ 実施形態2で用いた回路パターンを示す模式図

【図 14】 本発明の実施形態 2 で用いた回路パターン
の模式図

【図 15】 本発明の実施形態 2 を説明する模式図

【図 16】 本発明の実施形態 3 の微細線露光パターンを
説明する模式図

【図 17】 2 次元ブロックでの形成パターンを示す模式
図

【図 18】 本発明の実施形態 3 で形成可能なパターン
の 1 例を示す模式図

【図 19】 マルチ電子ビーム露光装置の一例を示す模式
図

【図 20】 電子投影露光装置の一例を示す模式図

【図 21】 ハーフトーンマスクの一例を示す模式図

【図 22】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャー
ト

【図 23】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャー
ト

【図 24】 従来の投影露光装置を示す模式図

【符号の説明】

211 マスク

212 主鏡

213 副鏡

214 ウエハ

215 ウエハステージ

216 開口絞り

221 SR 光源

222 SR 光

223 ビーム成形ミラー

224 シャッター

225 シャッター制御ユニット

226 マスク

227 ウエハ

231 電子鏡

232 縮小電子光学系

233 ウエハ

242 マスク

248 ウエハ

251 エキシマレーザ光源

252 照明光学系

253 照明光

254 マスク

255 物体側露光光

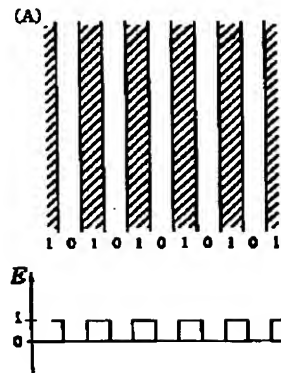
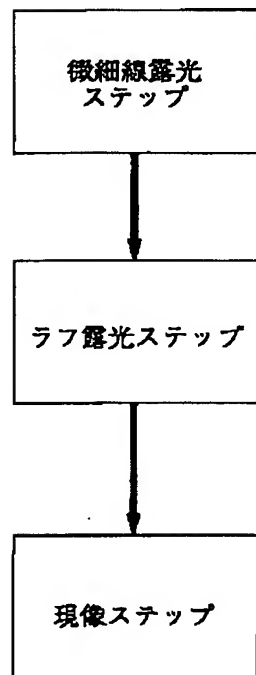
256 投影光学系

257 像側露光光

258 感光基板

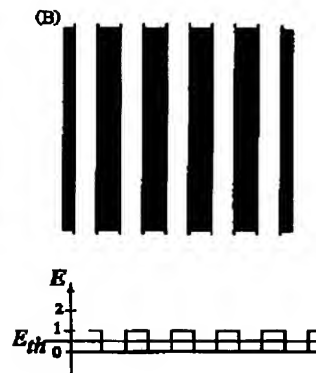
259 基板ステージ

【図 1】



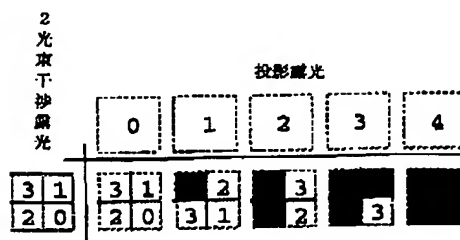
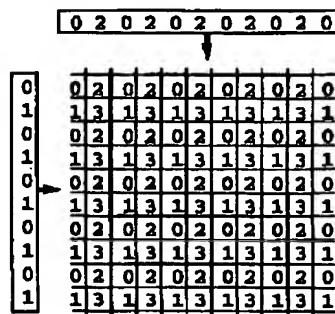
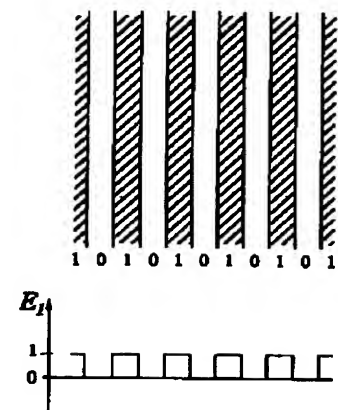
【図 16】

【図 2】

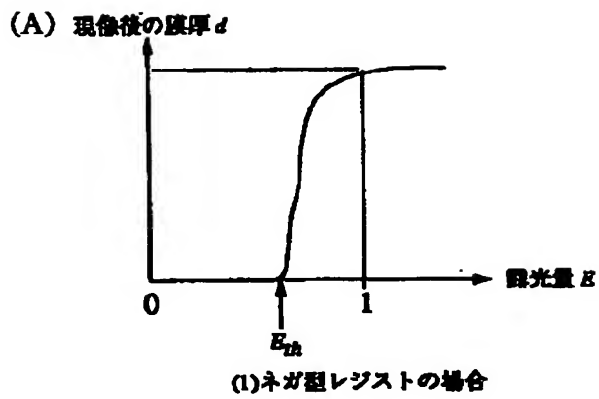


【図 17】

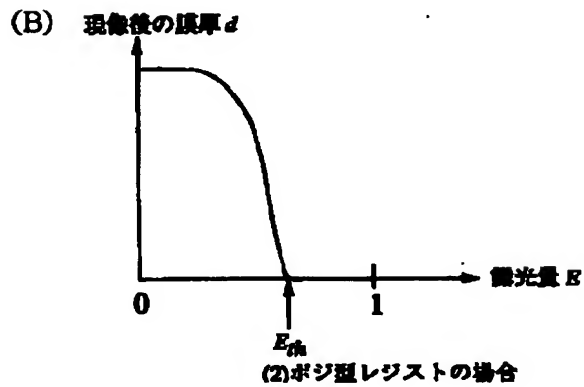
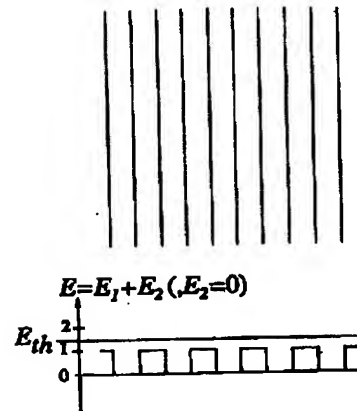
【図 5】



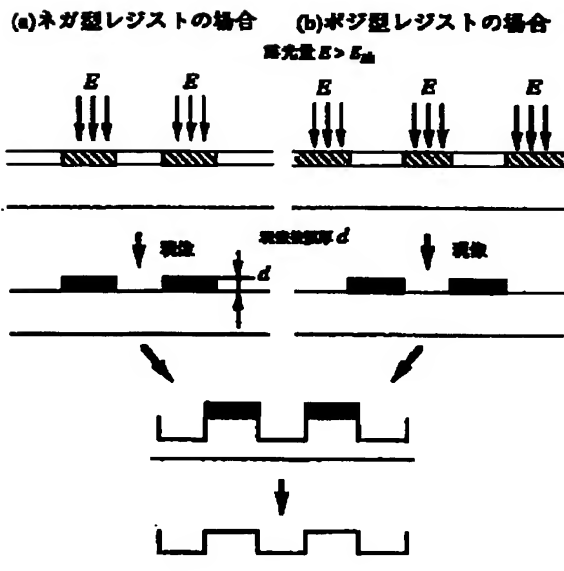
【図3】



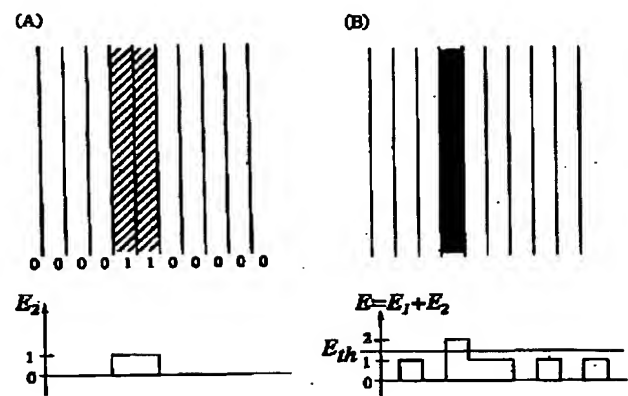
【図6】



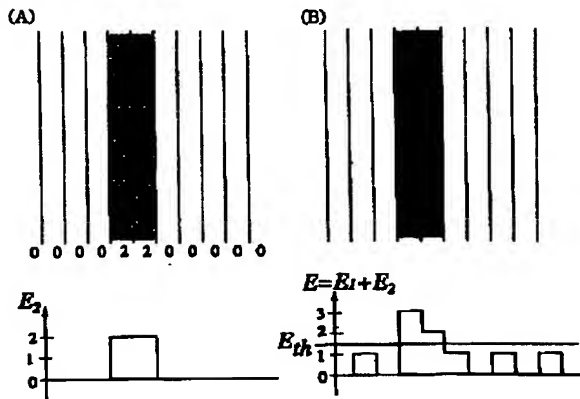
【図4】



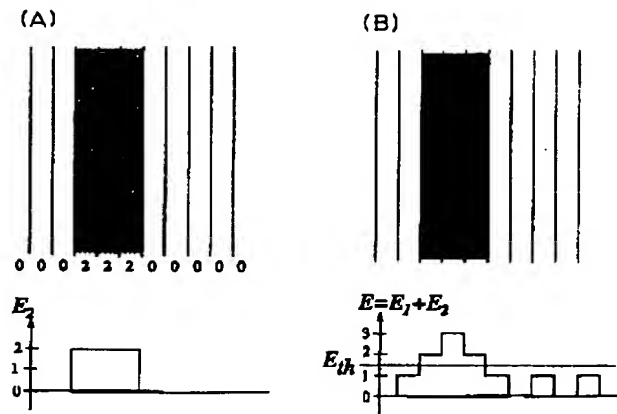
【図7】



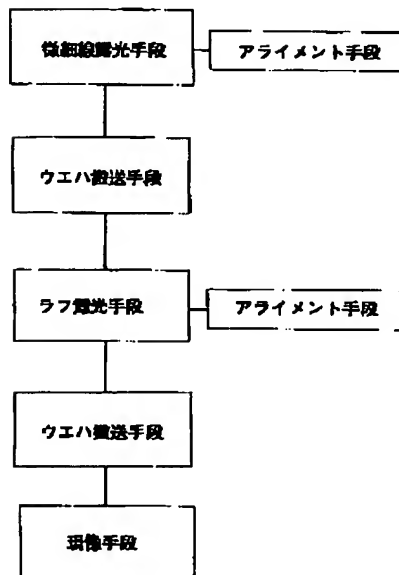
【図8】



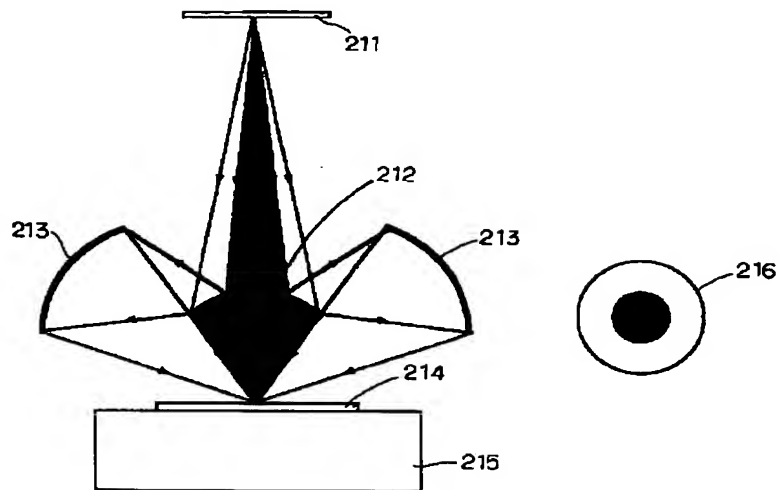
【図9】



【図10】

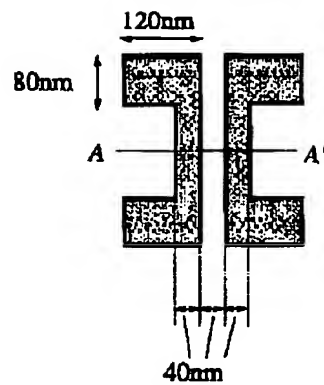


【図11】

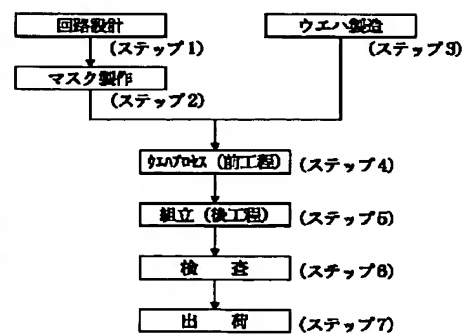


F2レーザ投影露光装置の一例

【図14】

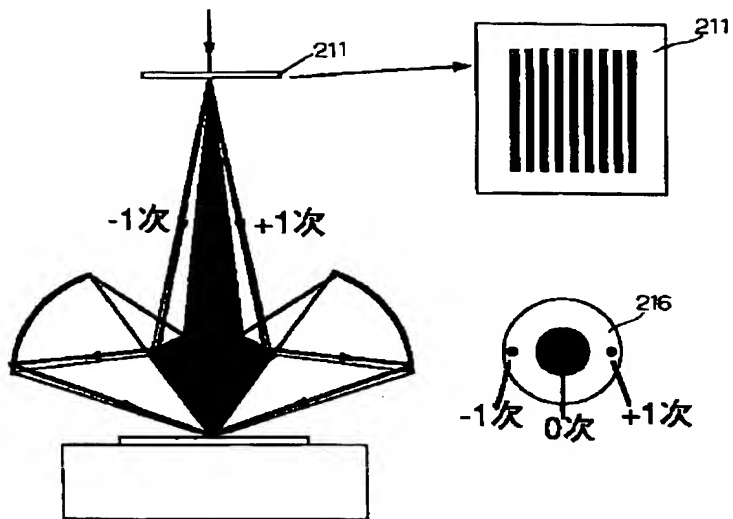


【図22】



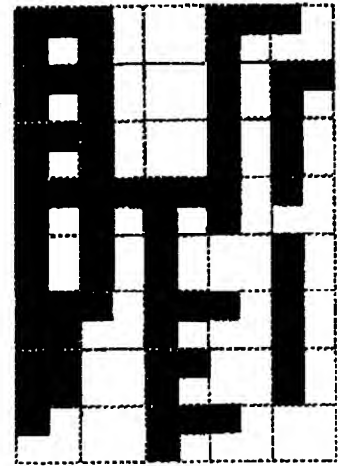
本発明の露光装置の構成一例

【図12】

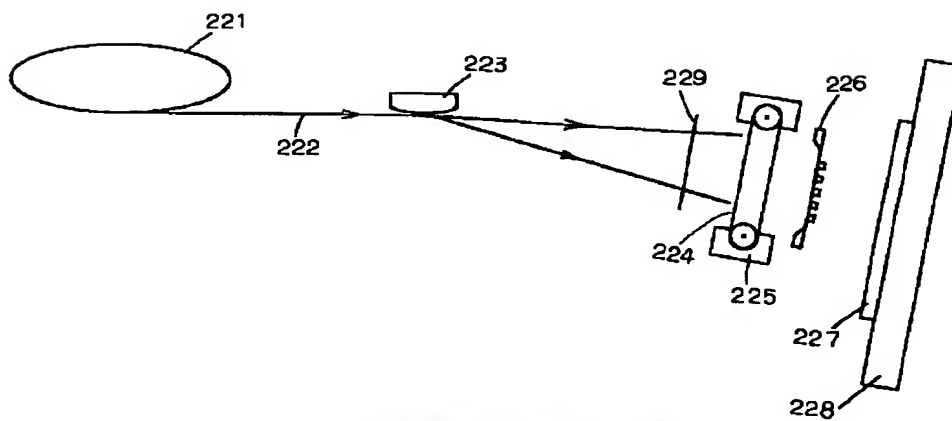


微細線露光を2光束干渉で行う様子を示す図

【図18】

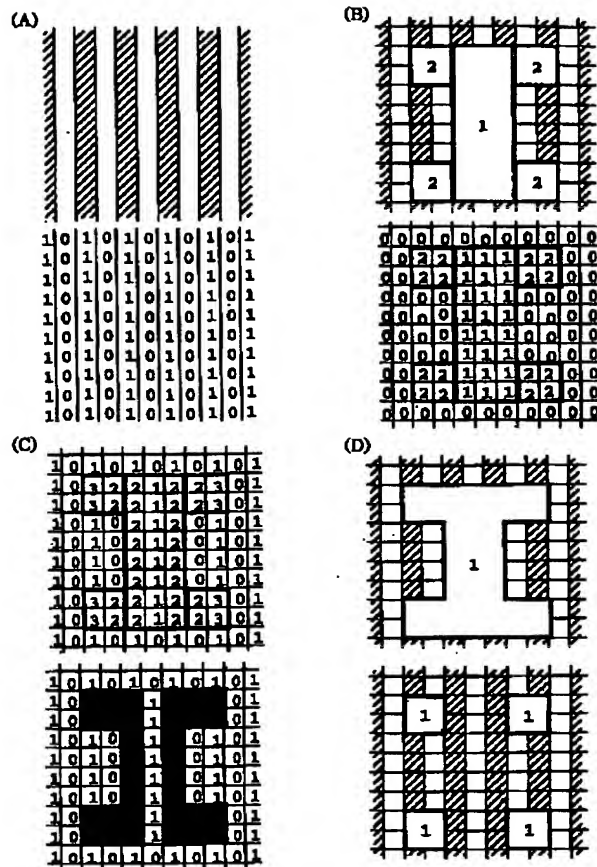


【図13】

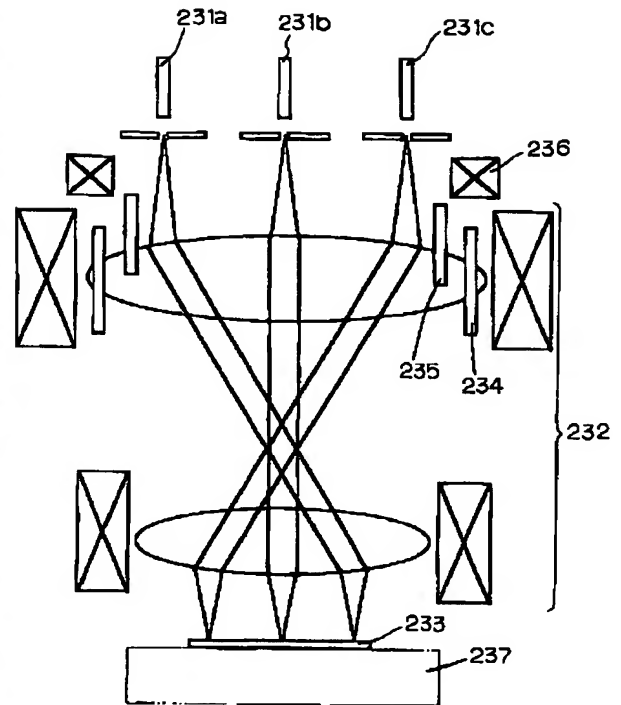


X線露光装置の一例

【図15】

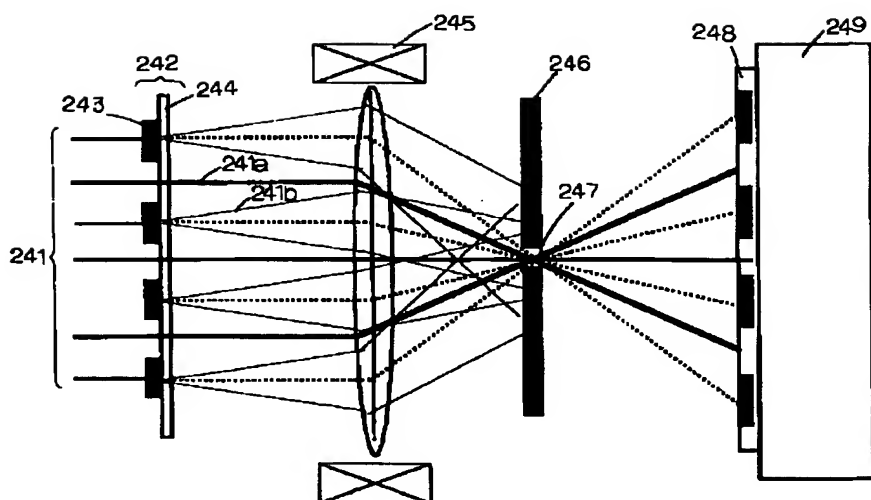


【図19】



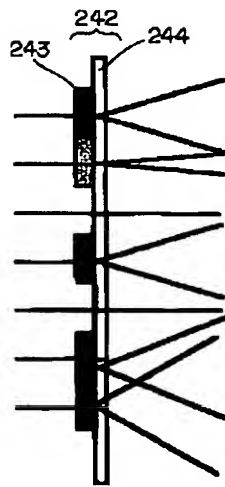
マルチ電子ビーム露光装置の一例

【図20】

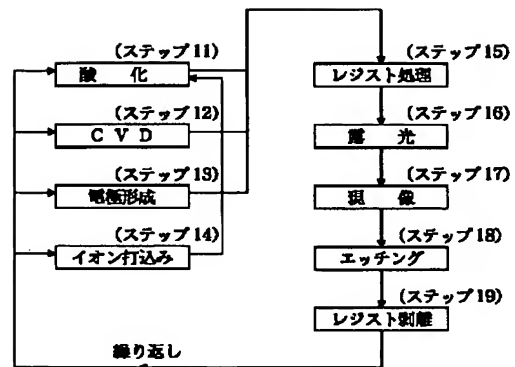


電子投影露光装置の一例

【図21】

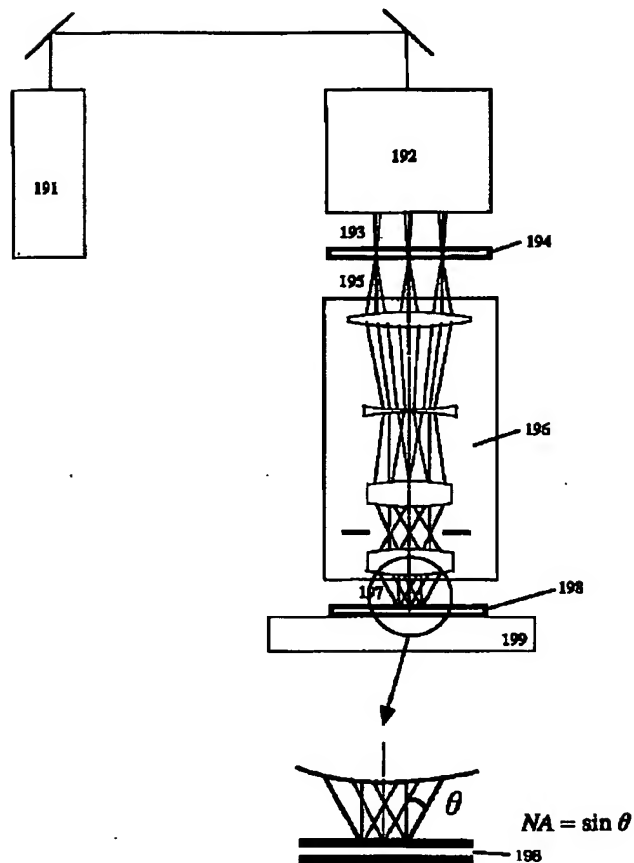


【図23】



ハーフトーン用マスクの一例

【図24】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード (参考)
		H 0 1 L 21/30	5 4 1 S

[Claims]

[Claim 1] An exposure method comprising an exposure step of exposing a photosensitive substrate with a periodic pattern, and an exposure step of exposing the photosensitive substrate with a rough pattern having a resolution lower than that of the periodic pattern, wherein latent images generated by the exposure steps in the same portion of the photosensitive substrate are overlapped.

[Claim 2] The exposure method according to claim 1 wherein light beams different in wavelength from each other and/or particle beams different in wavelength from each other are used in the two exposure steps, and the photosensitive substrate has exposure sensitivities to the light beams having different wavelengths and/or the particle beams having different wavelengths.

[Claim 3] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein projection exposure using ultraviolet light with a wavelength of 300 nm or less and/or two-beam interference exposure are used in the exposure steps.

[Claim 4] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein electron-beam exposure is used in the exposure steps.

[Claim 5] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein projection exposure using soft X-ray light with a wavelength of 30 nm or less and/or two-beam interference exposure are used in the exposure steps.

[Claim 6] The exposure method according to claim 1 or 2

wherein projection exposure using soft X-ray light with a wavelength of 30 nm or less is used in the rough exposure step.

[Claim 7] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein projection exposure using ultraviolet light with a wavelength of 300 nm or less is used in the rough exposure step.

[Claim 8] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein the rough exposure is electron projection exposure.

[Claim 9] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein the rough exposure is multi-valued exposure.

[Claim 10] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein the rough exposure comprises multiple exposures.

[Claim 11] The exposure method according to claim 9 wherein a mask having pattern regions with a plurality of transmission factors is used in the rough exposure step.

[Claim 12] The exposure method according to claim 9 wherein a mask having pattern regions equal to or less than the linewidth resolvable under the exposure conditions of the rough exposure step is used in the rough exposure step, whereby the intensity of exposed image areas in the pattern that remain unresolved takes on multiple values.

[Claim 13] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein the exposure steps are multi-valued exposures.

[Claim 14] The exposure method according to claim 1 or 2 wherein the exposure steps comprise multiple exposures.

[Claim 15] An exposure apparatus using the exposure method

according to any one of claims 1 through 14 wherein a pattern on a mask is transferred to the photosensitive substrate.

[Claim 16] A device manufacturing method using the exposure method according to any one of claims 1 through 14 wherein after a wafer is exposed with a pattern on a mask, the wafer is subjected to a development process to fabricate devices.

[Claim 17] A device manufacturing method using the exposure apparatus according to claim 15 wherein after a wafer is exposed with a pattern on a mask, the wafer is subjected to a development process to fabricate devices.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to an exposure method and apparatus, and particularly to an exposure method and apparatus, in which a photosensitive substrate is exposed with a fine circuit pattern, and hence which is suitable for use in manufacturing various kinds of devices including, for example, semiconductor chips such as ICs and LSIs, display devices such as liquid crystal panels, detection devices such as magnetic heads, and image pickup devices such as CCDs.

[0002]

[Prior Art] Conventionally, in manufacturing an IC, an LSI, or a liquid crystal display using photolithography, a projection exposure apparatus is used to project a

photomask or reticle pattern through a projection optical system onto a substrate such as a wafer or glass plate on which a photoresist is coated.

[0003] The integration level of semiconductor devices, such as ICs, LSIs, and Liquid crystal devices, has been increasing more and more. Along with this trend comes the demand for finer processing of semiconductor wafers, that is, finer patterning and hence higher resolution.

[0004] In order to meet such a demand, the existing projection exposure techniques as a leading part of fine processing technology today have now been developed to form a wide range of images of 0.1 μm or less, and it is further desired to provide a method and apparatus for forming circuit patterns of 80 nm or less.

[0005] FIG. 24 is a schematic view showing the principle of a conventional exposure apparatus. In the figure, reference numeral 251 designates an excimer-laser light source, 252 is an illumination optical system, 253 is illumination light, 254 is a mask, 255 is object-side exposure light, 256 is a projection optical system, 257 is image-side exposure light, 258 is a photosensitive substrate, 259 is a substrate stage for holding the photosensitive substrate.

[0006] In this exposure apparatus, the excimer laser light emitted from the excimer-laser light source 251 is guided to the illumination optical system 252, and adjusted to become the illumination light 253 having predetermined light intensity distribution, orientation distribution, etc.

before entering the mask 254.

[0007] A pattern made of chrome or the like and to be formed on the photosensitive substrate is converted at a predetermined magnification and patterned on the mask 254, so that the illumination light 253 is transmitted through or diffracted by the pattern to provide the object-side exposure light 255. The projection optical system 256 is to convert the incoming exposure light 255 to the image-side exposure light 257 that can form an image on the photosensitive substrate with a predetermined magnification and sufficiently small aberration.

[0008] As enlarged in the lower part of FIG. 24, the image-side exposure light 197 converges on the photosensitive substrate 258 with a predetermined NA (Numerical Aperture= $\sin \theta$) to form an image. The substrate stage 259 has a function to control the relative position of the photosensitive substrate and the projection optical system, and moves step by step when a plurality of patterns are formed on the photosensitive substrate.

[0009]

[Problem to be Solved by the Invention] (Characteristics and problems of projection lithography) However, today's mainstream projection exposure apparatuses using excimer laser have a problem that it is difficult to form a pattern of 0.1 μm or less.

[0010] The following gives some examples to explain this problem. First of all, the projection optical system has a

limitation depending on the wavelength used due to a tradeoff between the optical resolution and the depth of focus. It is known that the resolution and the depth of focus of a pattern that can be formed by the projection exposure apparatuses are given by the following Reyleigh's equations (1) and (2):

$$[0011] \quad R = K_1 \cdot \lambda / NA$$

$$DOF = K_2 \cdot \lambda / NA^2$$

where λ is the wavelength, NA is the numerical aperture indicative of the brightness of the above-mentioned optical system, and K_1 and K_2 are constants determined by the development process characteristics or the like of the photosensitive substrate, typically about 0.5 to 0.7.

[0012] It is apparent from these equations (1) and (2) that, in order to set a smaller value for the resolution R, that is, to improve the resolution R, the wavelength λ must be shortened or the NA must be increased. However, at the same time, the depth of focus DOF required for the performance of the projection optical system needs to be maintained at a certain value or above. Therefore, since it is impossible to increase the NA beyond a certain level, shortening the wavelength is only the solution so far.

[0013] Shortening the wavelength, however, causes significant problems irrespective of the above equations.

[0014] The most significant problem is that there is no glass material usable for the projection optical system.

[0015] Only practically available for projection exposure

systems are optical systems including refractive optics or lenses in terms of the aberration amount, processing precision, controllability, etc. The transmission factors of typical glass materials used for lenses become almost zero in a short wavelength band, that is, in a deep UV range. There is quartz as an existing glass material manufactured using a specific manufacturing method for exposure apparatuses. However, since the transmission factor of quartz is reduced sharply around 193 nm or less, it is practically very difficult to develop a glass material in a range of about 150 nm or less corresponding to patterns of 0.1 μm or less. Further, there is less expectation for a glass material that meets many requirements, such as durability, refractive uniformity, optical distortion, processing performance, etc. other than the transmission factor.

[0016] Thus, the conventional projection exposure techniques depend on the above equations (1) and (2), and needs to shorten the wavelength for patterning, causing a problem that there is no glass material available, and hence that cannot realize exposure to form patterns of 0.1 μm or less.

[0017] For example, as a next-generation excimer-laser light source, F2 laser at a wavelength of 157 nm is starting to be used. As mentioned above, since it is very difficult at this wavelength to use many refractive elements or lenses, a catadioptric system including

reflecting elements or mirrors, or a total reflection system consisting of only mirrors is advantageous as the projection optical system. However, the projection optical system including reflecting elements has trouble increasing the NA because of overlapped light paths due to reflection.

[0018] To sum up, it is difficult for the exposure apparatus using excimer laser to form a practical circuit pattern of 0.1 μm or less.

[0019] On the other hand, as an exposure apparatus capable of forming a pattern of 0.1 μm , a batch exposure apparatus using 1 nm X-ray proximity lithography has been proposed. However, at 80 nm or less, this type of exposure apparatus has trouble controlling a gap between the mask and the wafer and creating a 1:1 mask.

[0020] Further, an electron-beam exposure apparatus using electron beam radiation has been proposed. This type of exposure apparatus has practically achieved resolutions exceeding 80 nm, but it is low in throughput, which is important for the performance of the exposure apparatus.

[0021] As discussed above, various types of exposure apparatuses aiming for 100 nm or less have advantages and disadvantages, respectively. In other words, they can achieve a high resolution of 100 nm or less, but is insufficient to form a variety of actual circuit patterns with a resolution of 80 nm to create actual devices.

[0022] It is an object of the present invention to provide an exposure method using a combination of fine line

exposure and rough exposure to enable the formation of a pattern with a linewidth of 80 nm or less, and an exposure apparatus using the exposure method to enable exposure of an actual circuit pattern with a linewidth of 80 nm or less.

[0023]

[Means for Solving the Problem] An exposure method of the present invention comprises (1-1) an exposure step of exposing a photosensitive substrate with a periodic pattern, and an exposure step of exposing the photosensitive substrate with a rough pattern having a resolution lower than that of the periodic pattern, wherein latent images generated by the exposure steps in the same portion of the photosensitive substrate are overlapped.

[0024] (1-1-1) Particularly, light beams different in wavelength from each other and/or particle beams different in wavelength from each other are used in the two exposure steps, and the photosensitive substrate has exposure sensitivities to the light beams having different wavelengths and/or the particle beams having different wavelengths.

[0025] (1-1-2) Projection exposure using ultraviolet light with a wavelength of 300 nm or less and/or two-beam interference exposure are used in the exposure steps.

[0026] (1-1-3) Electron-beam exposure is used in the exposure steps.

[0027] (1-1-4) Projection exposure using soft X-ray light with a wavelength of 30 nm or less and/or two-beam

interference exposure are used in the exposure steps.

[0028] (1-1-5) Projection exposure using soft X-ray light with a wavelength of 30 nm or less is used in the rough exposure step.

[0029] (1-1-6) Projection exposure using ultraviolet light with a wavelength of 300 nm or less is used in the rough exposure step.

[0030] (1-1-7) The rough exposure is multi-valued exposure.

[0031] (1-1-8) The rough exposure is electron projection exposure.

[0032] (1-1-9) The rough exposure comprises multiple exposures.

[0033] (1-1-10) A mask having pattern regions with a plurality of transmission factors is used in the rough exposure step.

[0034] (1-1-11) A mask pattern regions equal to or less than the linewidth resolvable under the exposure conditions of the rough exposure step is used in the rough exposure step, whereby the intensity of exposed image areas in the pattern that remain unresolved takes on multiple values.

[0035] (1-1-12) The exposure steps are multi-valued exposures.

[0036] (1-1-13) The exposure steps comprise multiple exposures.

[0037] An exposure apparatus of the present invention features that (2-1) it uses the exposure method (1-1) to transfer a pattern on a mask to a photosensitive substrate.

[0038] A device manufacturing method of the present invention features that (3-1) it uses the exposure method (1-1), in which after a wafer is exposed with a pattern on a mask, the wafer is subjected to a development process to fabricate devices.

[0039] (3-2) After a wafer is exposed with a pattern on a mask using the exposure apparatus (2-1), the wafer is subjected to a development process to fabricate devices.

[0040] Note that the term "multiple exposures" used in the description of the invention means that "the same region on the photosensitive substrate is exposed with different light patterns without the development process between the exposures."

[0041]

[Embodiments of the Invention] (Principles of the invention) First of all, the principle of multiple exposures in an exposure method of the present invention will be described using FIGS. 1 through 9.

[0042] FIG. 1 illustrates a basic flowchart of an exposure method of the present invention. This figure shows a fine-line exposure step (fine-line exposure), a rough exposure step (rough exposure), and a development step, which constitute the exposure method, and the flow of the exposure method.

[0043] The fine-line exposure step and the rough exposure step do not need to be performed in this order. The rough exposure step can be performed first, or if plural

exposures are made, these steps can be performed alternately.

[0044] Further, an alignment step or the like can be inserted between the exposure steps to improve image forming accuracy. The present invention is not limited at all to the step configuration in this figure.

[0045] FIG. 10 is a diagram showing an example of the structure of an exposure apparatus according to the present invention. The following describes the principle of how the effect of the present invention is realized in these steps. When the flow of FIG. 1 is used, a photosensitive substrate is first exposed with a fine-line pattern by means of fine-line exposure.

[0046] FIG. 2 contains schematic views showing this periodic pattern of fine lines. The numbers in the figure show exposure amounts, that is, shaded areas have exposure value 1, while blank areas have exposure value 0. If only such a fine-line pattern is developed, the exposure threshold of the photosensitive substrate is generally set between 0 and 1.

[0047] FIG. 3 shows the dependences of the developed film thicknesses of positive and negative resists on the amount of exposure, in which an exposure threshold E_{th} is indicated as well. The developed film thickness becomes 0 when the amount of exposure is equal to or more than the threshold E_{th} in case of the positive resist, or when the amount of exposure is equal to or less than the threshold

Eth in case of the negative resist.

[0048] FIG. 4 is a schematic view showing how a lithography pattern is formed via development and etching processes when such an exposure is made. According to the present invention, unlike the setting of ordinary exposure sensitivity, if the maximum exposure for fine-line patterning is 1, the exposure threshold of the resist is set larger than 1.

[0049] If an exposure pattern formed on such a photosensitive substrate by fine-line exposure alone as shown in FIG. 2 is developed, though the pattern is underexposed and there are some variations in film thickness, there is no region having a thickness of 0 and hence no pattern is formed.

[0050] This can be considered disappearance of the fine-line exposure pattern (note that although the negative type is used as an example, it is apparent that the nature of the present invention is common to both types, not depending on whether it is of the negative or positive type, so that either the negative or positive type can be selected according to other requirements).

[0051] The principle of multiple exposures of the present invention is such that the high-resolution pattern, which seemingly disappears after subjected to only the fine-line exposure as mentioned above, is combined with a pattern by rough exposure to selectively restore and reproduce the high-resolution pattern according to the combined effect,

enabling the formation of a lithography pattern.

[0052] The following describes an example of a pattern forming method with rough exposure added thereto according to an embodiment of the present invention.

[0053] The embodiment uses an exposure apparatus using F2 laser light as exposure light as shown in FIG. 11 to perform fine-line pattern exposure (fine-line exposure step) shown in FIG. 2.

[0054] In the figure, reference numeral 211 designates a mask, 212 is a secondary mirror, 213 is a primary mirror, 214 is a wafer, 215 is a wafer stage, and 216 is an aperture stop part showing how to transmit the light. Further, only the imaging light beam on the optical axis is shown for simplicity.

[0055] In the figure, a light beam from the mask 211 illuminated by the exposure light is reflected by the secondary mirror 212 and the primary mirror 213 in this order, and condensed onto the wafer 214 to form a two-beam interference pattern.

[0056] The projection optical system of this exposure apparatus is a Schwarzschild optical system in which the center portion of NA (aperture stop) is light-shielded by the secondary mirror. In the embodiment, the light-shielded center portion of a so-called pupil of this optical system is used as a filter for cutting zero-order diffracted light emitted from the mask 211. Then, using a mask having a periodic pattern with a pitch that is double the pitch of

the target fine-line pattern, the image surface is exposed with a fine-line pattern using two-beam interference of plus first-order light and minus first-order light.

[0057] As the resist, a chemical amplification resist having sensitivities to both a laser light wavelength of 157 nm and SR X-ray radiation. Note that any resist other than the chemical amplification resist can be used as long as it has sensitivities to both.

[0058] FIG. 12 is a schematic view showing a state in which fine-line exposure is performed for a fine-line pattern using the exposure apparatus. A periodic pattern with a pitch (equivalent magnification factor) double the pitch of the target fine-line pattern is formed on the mask 211. The center portion of the aperture stop (pupil) as shown in the aperture stop part 216 in the figure is light-shielded, so that among light beams diffracted by the periodic pattern on the mask, zero-order light is shielded by the periodic pattern on the mask, allowing the exposure apparatus to realize two-beam interference of plus first-order light and minus first-order light. Therefore, a pattern with a pitch double the pitch of ordinary three-beam interference exposure is formed, and this is the reason for doubling the pitch.

[0059] In this case, the wavelength is 157 nm, NA of the outermost light is 0.6, and the resolution limit of two-beam interference exposure is 65 nm L&S.

[0060] In the embodiment, the projection optical system is

a total reflection system, but it can be, of course, a catadioptric system including refractive elements or a total refraction system to obtain the same effect.

[0061] The following describes the rough exposure step according to the embodiment. FIG. 7(A) shows an exposure pattern obtained by rough exposure.

[0062] In the embodiment, the periodic pattern formed by the F2 exposure apparatus is 65 nm L&S, whereas the resolution of the exposure pattern formed by rough exposure is one-half that of the fine-line exposure pattern, that is, 130 nm. FIG. 7(A) shows that a pattern formed by rough exposure is double the linewidth of that formed by fine-line exposure.

[0063] In the embodiment, an X-ray one-to-one proximity exposure apparatus as shown in FIG. 13 is used for this rough exposure.

[0064] In FIG. 13, reference numeral 221 designates an SR (synchrotron radiation) light source, 222 is SR light, 223 is a beam-forming mirror, 224 is a shutter, 225 is a shutter control unit, 226 is a mask, 227 is a wafer, 228 is a wafer stage, and 229 is a beryllium window.

[0065] The SR light 222 emitted from the SR (synchrotron radiation) generator 221 as the SR X-ray light source is incident at a grazing incidence angle of about 15 mrad on a cylindrical mirror (convex mirror) 223 made of SiC, having a curvature radius of about 60 m, and placed about 3 m away from a luminous point.

[0066] The SR light 222 reflected by the mirror 223 is transmitted through the transmission mask 226 as an original plate with a desired pattern made of an X-ray absorber material and formed on an X-ray permeable film, and radiated as a desired light pattern on the substrate (wafer) 227 coated with a resist as a photosensitive material.

[0067] The shutter 224 is placed upstream of the mask 226 to control exposure time throughout the entire surface of an exposure range. The shutter 224 is driven by the shutter driving unit 225 controlled by a shutter control unit, not shown.

[0068] The thin film 229 made of Be and has a thickness of 10 μm is the boundary of a chamber, not shown. The upstream side (light source side) of the thin film is under ultrahigh vacuum, while the downstream side (wafer side) is in a reduced-pressure He atmosphere.

[0069] In the embodiment, although the above-mentioned X-ray exposure apparatus is used, any other exposure apparatuses capable of performing rough exposure at a wavelength resolution of 130 nm can be used as appropriate, such as that using an ArF excimer laser or a super-resolution technique like a phase shift mask, an EB (electron-beam) exposure apparatus, an EUV exposure apparatus (a soft X-ray reduction projection exposure apparatus using multilayer-coated mirrors), etc.

[0070] When the exposure of this pattern is made to overlap

the fine-line pattern after the fine-line exposure shown in FIG. 5 without the development process, the distribution of the total amount of exposure is as shown in the lower part of FIG. 7(B). The exposure ratio between the fine-line exposure and the rough exposure is set to 1:1. Since the exposure threshold E_{th} is set between 1 and 2 in the same manner as in the case of pattern disappearance in FIG. 6, a pattern as shown in the upper part of FIG. 7(B) is formed. The resolution of this pattern is the same as that of fine-line exposure, but it is not a periodic pattern. In other words, a high-resolution pattern with a resolution equal to or higher than those capable of being formed by rough exposure can be selectively obtained.

[0071] Further, as shown in FIG. 8(A), when rough exposure is performed with a double linewidth and an exposure value equal to or larger than the exposure threshold (double the exposure amount in this case), the pattern of fine-line exposure disappears as shown in FIG. 8(B) and only the pattern of rough exposure is formed.

[0072] The same holds true for the case where rough exposure is performed with a threefold linewidth as shown in FIG. 9. If the linewidth is increased more than threefold, a combination of the double linewidth and the threefold linewidth can be considered. Evidently, it is possible to form all of patterns that can be realized by rough exposure.

[0073] As discussed above, since the fine-line exposure and

the rough exposure are performed in combination while adjusting the threshold of the photosensitive substrate and the amount of exposure for each exposure, various high-resolution patterns as shown in FIGS. 6, 7(B), 8(B), and 9(B) can be formed without greatly reducing throughput.

[0074] What is described above is the principle of the exposure method. To sum up, (A-1) Pattern regions not subjected to rough exposure, that is, fine-line exposure pattern regions with exposure values equal to or smaller than the exposure threshold disappear in the process of development.

[0075] (A-2) In pattern regions formed by rough exposure with exposure values equal to or smaller than the exposure threshold, an exposure pattern having a resolution of fine-line exposure determined by a combination of a rough exposure pattern and a fine-line exposure pattern is formed.

[0076] (A-3) In pattern regions formed by rough exposure with exposure values equal to or larger than the exposure threshold, any pattern is formed in the same manner as that formed by rough exposure alone.

[0077] Note that the fine-line exposure is ahead of the rough exposure, but the present invention is not limited to this order.

[0078] The following describes a pattern forming method according to a second embodiment of the present invention. In this embodiment, a target circuit pattern obtained by exposure is a so-called gate pattern as shown in FIG. 14.

[0079] In this pattern, the lateral linewidth, that is, in the direction of A-A' is 40 nm, whereas the vertical linewidth is 80 nm or more.

[0080] According to the present invention, in case of such a pattern requiring a high resolution only in a one-dimensional direction, exposure in the fine-line exposure step can be performed only in the one-dimensional direction in which the high resolution is needed. The embodiment shows an example of a combination of one-dimensional fine-line exposure and rough exposure.

[0081] The embodiment uses an electron-beam exposure apparatus as shown in FIG. 19 to perform fine-line exposure. This exposure apparatus employs an electron-beam exposure method, so-called a "multibeam exposure method."

[0082] In FIG. 19, reference numerals 231a, 231b, 231c designate electron guns that can be individually turned on and off. Reference numeral 232 designates a reduction electron optical system for reduction-projecting multiple electron beams from the electron guns 231a, 231b, 231c to a wafer 233. Reference numeral 234 designates a deflector for scanning the multiple electron beams reduction-projected onto the wafer 233.

[0083] Reference numeral 235 designates a dynamic focus coil for correcting the focus position of an electron beam that passed through the reduction electron optical system according to the deflection aberration of the electron beam generated upon operating the deflector 234. Reference

numeral 236 designates a dynamic focus coil for correcting the astigmatism of the electron beam according to the deflection aberration. Further, reference numeral 237 designates a wafer stage. In the above structure, the multiple electron beams are scanned on the wafer 233 to expose the wafer 233 by placing the exposure field of each electron beam in close proximity to the wafer.

[0084] Since the wafer 233 is coated with a chemical amplification resist as a photosensitive material, each electron beam incident as an image generates secondary electrons to generate acid so that solubility will locally vary, enabling the formation of a pattern.

[0085] At the time of rough exposure using X-ray to be described later, since each X-ray beam incident as an image on the resist also generates secondary electrons in the same manner to form a pattern, this resist has sensitivities to both the electron beam and X-ray so that latent images generated by fine-line exposure and rough exposure can be overlapped.

[0086] Since the electron-beam exposure apparatus shown in FIG. 19 scans any pattern to expose the wafer with the pattern in the manner as mentioned above just like a picture drawn with a single stroke of the brush, it takes time to control multibeam exposure. However, according to the present invention, when electron-beam exposure is used, straight lines are scanned at even intervals in the fine-line exposure step of the present invention, so that the

scanning distance is shortened to make it easy to control the exposure, and hence not to greatly reduce throughput.

[0087] Although the embodiment uses the above-mentioned multibeam type of electron-beam exposure apparatus, any other exposure apparatus can be used as appropriate such as the type of correcting deflection aberration as disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 9-330870. Further, any electron-beam lithography other than the multibeam type can be used such as that using a stencil mask.

[0088] Further, as the exposure apparatus for fine-line patterning in the embodiment, any exposure apparatus other than the electron-beam exposure apparatus can be used, such as a projection exposure apparatus using F2 excimer laser, an X-ray exposure apparatus, an EUV exposure apparatus, or the like.

[0089] FIG. 15 contains schematic views showing patterns formed with the above-mentioned exposure apparatuses. FIG. 15(A) shows a periodic exposure pattern formed by fine-line exposure in a one-dimensional direction. The period of exposure is 80 nm, which corresponds to 40 nm L&S. The numbers in the lower part of FIG. 15(A) represent exposure amounts.

[0090] In the embodiment, exposure of a pattern shown in FIG. 11(B) is performed in the rough exposure step following the fine-line exposure step. In the embodiment, the X-ray exposure apparatus shown in FIG. 13 (and described in the first embodiment) is used in the rough

exposure step. As mentioned above, any exposure apparatus other than the X-ray exposure apparatus can be used, such as an electron-beam exposure apparatus, an EUV exposure apparatus (a soft X-ray reduction projection exposure apparatus using multilayer-coated mirrors), or the like.

[0091] In the lower part of FIG. 11(B), the position of the rough exposure relative to the fine-line exposure and the exposure amount (exposure value) in each region in this step are shown. In the lower part of the figure, the exposure amount is mapped with a resolution pitch of 40 nm. It is apparent that the linewidth of the pattern formed by this rough exposure is 80 nm, which is double the linewidth of the pattern formed by the fine-line exposure.

[0092] As a method of performing such rough exposure that the exposure amount varies from region to region, there is a method using a mask having multi-step transmission factors in which the mask is configured such that mask portions corresponding to number 1 have a transmission factor of $T\%$ and mask portions corresponding to number 2 have a transmission factor of $2T\%$. This method makes it possible to complete the rough exposure step by one exposure.

[0093] In this case, the exposure ratio among the steps is represented in the following relation: "fine-Line exposure": "transmission factor T ": "transmission factor $2T$ " = 1:1:2.

[0094] Further, instead of the above-mentioned halftone

mask having only the pattern to be resolved, a fine pattern not to be resolved can be used to configure the mask to produce resulting image intensities with (continuous) middle tones in between. Among these examples, it is preferable to form, on the mask, the target gate pattern that remains intact.

[0095] The target gate pattern contains fine lines not to be resolved by rough exposure, so that when exposure is performed on these unresolved pattern portions, the resulting image becomes a so-called blurred image, obtaining a halftone image in which the light intensity smoothly varies. This has the same main effect as the image using the halftone mask. In addition, it is more preferable than the uniform halftone image in that the peak position of the intensity of each target fine line coincides with that of the desired one.

[0096] Further, as another method not using the halftone mask, it is possible to perform exposure twice with exposure amounts as shown in FIG. 11(D). In this case, the exposure amount can be one step and hence the transmission factor of the mask can be one step. The exposure ratio in this case is represented in the following relation: "fine-line exposure": "first rough exposure": "second rough exposure" = 1:1:1.

[0097] The following describes how to form a pattern using a two-beam exposure step and the rough exposure step in combination. According to the present invention, there is

no development step between the fine-line exposure step and the rough exposure step. Therefore, the exposure amounts in the exposure pattern positions in respective steps are added or accumulated to form a newly combined exposure pattern with the accumulated exposure amounts.

[0098] FIG. 11(C) shows the accumulation results of the two-step exposure amounts in the embodiment. In the lower part of the figure, a resulting pattern after the exposure pattern is developed is indicated in gray. The embodiment uses a photosensitive substrate having an exposure threshold with no less than 1 and no more than 2. The pattern indicated in gray coincides with the desired pattern shown in FIG. 14. Thus, the exposure method of the present invention can form such a pattern.

[0099] The following describes a pattern forming method according to a third embodiment of the present invention. In the embodiment, the fine-line exposure is performed by electron-beam exposure, while the rough exposure is performed by electron projection exposure. Among them, the fine-line exposure will first be described.

[0100] Since the fine-line exposure is multibeam exposure described in the second embodiment using FIG. 19, the description of the exposure apparatus will be omitted. Any other electron-beam exposure apparatus, an X-ray one-to-one exposure apparatus, an X-ray reduction exposure apparatus, etc. can be used for fine-line exposure in the same manner.

[0101] In the embodiment, a fine-line exposure pattern is

exposed two-dimensionally. In the embodiment, the linewidth of fine lines is set to 40 nm.

[0102] FIG. 16 is a schematic view showing an exposure pattern as a map of exposure amounts derived from the two-dimensional fine-line exposure. In the embodiment, different values (double) are set for fine-line exposure amounts in two directions of fine-line exposure, respectively, in order to increase the variations of final exposure patterns. The exposure amounts can be the same, and the present invention is not limited to this embodiment.

[0103] As a result of performing fine-line exposure twice, the exposure amounts in the resulting exposure pattern of FIG. 16 range with four steps from 0 to 3. The number of exposure steps of rough exposure effective enough for such a fine-line exposure is 5 or more. Then, the exposure threshold of the photosensitive substrate is set more than 3 as the maximum exposure amount of fine-line exposure and less than 4 as the maximum exposure amount of rough exposure. FIG. 20 is a schematic diagram showing an electron projection exposure apparatus used for rough exposure in the embodiment.

[0104] In the figure, reference numeral 241 designates an incoming electron beam, 242 is a mask, 243 is electron diffusion regions, 244 is an electron permeable substrate, 241a is transmitted electron beams, 241b is diffused electron beams, 245 is a projection lens, 246 is an aperture mask, 247 is an aperture, 248 is a wafer, and 249

is a wafer stage.

[0105] The incoming electrons 241 pass through the mask 242, respectively. Among them, those passing through the electron diffusion regions 243 are diffused at a scattering angle, so that a distribution 241a of trajectories after passing through the mask spread more widely.

[0106] The other electrons that just pass through the electron permeable substrate 244 are unlikely to be diffused, so that most of beams 241b after passing through the substrate mainly contain rectilinear components. The projection lens 245, the aperture mask 247, and the wafer 248 are configured such that, when the electrons pass through the mask without interaction and go straight, all the electron beams within an effective image plane on the mask can be condensed on and pass through the aperture 248 to reach the wafer. The positions at which the electrons that passed through the aperture and reach the wafer, that is, the image positions are in a one-to-one correspondence with the positions on the mask.

[0107] Therefore, as mentioned above, when the mask on which a pattern is formed by the electron diffusion regions 243 on the electron permeable substrate 244 is used, only the electron beams which, among the electron beams that passed through the mask, go almost straight without being diffused to pass through the aperture and reach corresponding image points on the wafer, thus exposing the resist coated on the wafer 248. In other words, since

electrons reach image positions corresponding to non-diffusion regions on the mask, whereas no electrons reach image positions corresponding to the diffusion regions, the resist coated on the wafer is exposed with the pattern on the mask.

[0108] What is described above is the principle of electron projection exposure used in the embodiment. In the embodiment, four kinds of diffuse substances different in degree of diffusion in the electron diffusion regions are used to perform exposure having five halftone levels of 0, 1, 2, 3, and 4, rather than with two image intensity values of 1 and 2 at image positions on the image surface. FIG. 21 is a schematic view showing part of the mask used. In this case, since the degrees of scattering are different from region to region, the dose of electrons that can pass through the aperture shown in FIG. 20 varies stepwise, thereby forming a halftone image on the image surface. The size of the pattern in each diffusion region is set to 80 nm, double the fine linewidth of the fine-line exposure.

[0109] FIG. 17 shows the exposure amount of each exposure pattern formed as a result of rough exposure with five-step exposure amounts (0, 1, 2, 3, 4). Portions with hatching in FIG. 17 represent locations corresponding to the exposure threshold or more. These portions provide final exposure patterns.

[0110] Note that FIG. 17 shows the exposure amounts in terms of the resolution of rough exposure that is one-half

of that of fine-line exposure, and in units of blocks having a side length double that of the fine-line exposure. FIG. 18 shows an example of a pattern formed in a wider area by changing the exposure amount of rough exposure in the units of blocks.

[0111] It is seen that the pattern having a resolution of fine-line exposure, including a wide variety of patterns other than the periodic pattern, can be exposed. In the embodiment, the rough exposure is performed in the units of blocks with the linewidth double that of fine-line exposure, but the present invention is not limited to this. The rough exposure can be performed on any pattern within the range of resolutions of the rough exposure. Thus, exposure patterns can be obtained according to rough exposure in combination with fine-line exposure.

[0112] Further, in the embodiment, the linewidth of fine-line exposure is the same in the two directions, but it may be changed randomly. The angle between the two directions can also be selected at random.

[0113] Note that, according to the present invention, (a) as an illumination method for the illumination optical system, illuminating the mask pattern with light from KrF excimer laser, ArF excimer laser, or F2 excimer laser can be applied.

[0114] (b) In the exposure apparatus, projecting the mask pattern can also be applied using a projection optical system, consisting of any one of a dioptric system, a

catadioptric system, and a catoptric system.

[0115] (c) As the exposure apparatus, a step-and-repeat reduction projection exposure apparatus having the exposure method of the present invention as its exposure mode, a step-and-scan reduction projection exposure apparatus having the exposure method of the present invention as its exposure mode, or the like can be applied.

[0116] The following describes an embodiment of a semiconductor device manufacturing method using the above-described exposure apparatus.

[0117] FIG. 22 shows a flow of manufacturing semiconductor devices (semiconductor chips such as ICs or LSIs, liquid crystal panels, CCDs, etc.).

[0118] In step 1 (circuit designing), a circuit of a semiconductor device is designed. In step 2 (mask making), a mask is made based on the circuit pattern design.

[0119] On the other hand, in step 3 (wafer manufacturing), a wafer is manufactured from materials such as silicon. In step 4 (wafer process), which is called a pre-process, the mask and the wafer prepared as mentioned above are used to form actual circuits are formed on the wafer using lithography.

[0120] In the next step 5 (assembling), which is called a post-process, the wafer processed in step 4 is formed into semiconductor chips. This step includes an assembling (dicing and bonding) process, a packaging process (chip sealing) process, etc.

[0121] In step 6(inspection), operation checks, durability checks, and so on are done for the semiconductor devices manufactured in step 5. Thus, the semiconductor devices are completed via these processes, and they are shipped (step 7).

[0122] FIG. 23 shows a detailed flow of the wafer process. In step 11 (oxidation), the surface of the wafer is oxidized. In step 12 (CVD), an isolating film is formed on the surface of the wafer.

[0123] In step 13(electrode formation), electrodes are formed on the wafer by vapor deposition. In step 14 (ion implantation), ions are implanted into the wafer. In step 15 (resist process), a photosensitive material is applied to the wafer. In step 16 (exposure), the circuit pattern of the mask is printed by exposure using the exposure apparatus described above.

[0124] In step 17 (development), the exposed wafer is developed. In step 18 (etching), portions other than the developed resist are removed. In step 19 (resist stripping), the resist material unnecessary after the etching process is removed. By repeating these processes, circuit patterns are formed one upon another on the wafer in a superimposed manner.

[0125] The use of the manufacturing method of the embodiment makes it easy to manufacture highly integrated semiconductor devices that are difficult to manufacture by the conventional techniques.

[0126] It should be noted that the present invention is not limited to the aforementioned embodiments and various changes can be made without departing from the scope of the invention, such as the flow of sequence.

[0127]

[Effect of the Invention] As described above, the use of the exposure method for performing multiple exposures of fine-line exposure and rough exposure using different exposure apparatuses of the present invention, and the use of these exposure apparatuses can realize various exposure patterns of 80 nm or less without greatly reducing throughput.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] It is a flowchart showing the principle of an exposure apparatus according to the present invention.

[FIG. 2] It contains schematic views showing an exposure pattern formed by fine-line exposure.

[FIG. 3] It contains graphs showing the exposure sensitivity characteristics of resists.

[FIG. 4] It is a schematic view showing pattern formation during development.

[FIG. 5] It is a schematic view showing an exposure pattern formed by fine-line exposure.

[FIG. 6] It is a schematic view showing a pattern formed according to the present invention.

[FIG. 7] It contains schematic views showing an example of a pattern formed according to a first embodiment of the

present invention.

[FIG. 8] It contains schematic views showing another example of a pattern formed according to the first embodiment of the present invention.

[FIG. 9] It contains schematic views showing still another example of a pattern formed according to the first embodiment of the present invention.

[FIG. 10] It is a block diagram showing the main part of the exposure apparatus of the present invention.

[FIG. 11] It is a schematic view showing an example of an F2-laser projection exposure apparatus.

[FIG. 12] It is a schematic view showing a state in which two-beam interference exposure is performed to expose a fine-line pattern in the F2 laser projection exposure apparatus.

[FIG. 13] It is a schematic view showing an example of an X-ray exposure apparatus.

[FIG. 14] It is a schematic view showing a circuit pattern used in a second embodiment of the present invention.

[FIG. 15] It contains schematic views for explaining the second embodiment of the present invention.

[FIG. 16] It is a schematic view for explaining a fine-line exposure pattern according to a third embodiment of the present invention.

[FIG. 17] It is a schematic view showing patterns formed in a two-dimensional blocks.

[FIG. 18] It is a schematic view showing an example of a

pattern that can be formed in the third embodiment of the present invention.

[FIG. 19] It is a schematic view showing an example of a multi-electron-beam exposure apparatus.

[FIG. 20] It is a schematic view showing an example of an electron projection exposure apparatus.

[FIG. 21] It is schematic view showing an example of a halftone mask.

[FIG. 22] It is a flowchart of a device manufacturing method of the present invention.

[FIG. 23] It is a flowchart of a device manufacturing method of the present invention.

[FIG. 24] It is a schematic view showing a conventional projection exposure apparatus.

[Description of Reference Numerals and symbols]

211	MASK
212	PRIMARY MIRROR
213	SECONDARY MIRROR
214	WAFER
215	WAFER STAGE
216	APERTURE STOP
221	SR LIGHT SOURCE
222	SR LIGHT
223	BEAM-FORMING MIRROR
224	SHUTTER
225	SHUTTER CONTROL UNIT
226	MASK

227 WAFER
231 ELECTRON MIRROR
232 REDUCTION ELECTRON OPTICAL SYSTEM
233 WAFER
242 MASK
248 WAFER
251 EXCIMER-LASER LIGHT SOURCE
252 ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM
253 ILLUMINATION LIGHT
254 MASK
255 OBJECT-SIDE EXPOSURE LIGHT
256 PROJECTION OPTICAL SYSTEM
257 IMAGE-SIDE EXPOSURE LIGHT
258 PHOTOSENSITIVE SUBSTRATE
259 SUBSTRATE STAGE

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.